



DEFENSE TECHNICAL INFORMATION CENTER

Information for the Defense Community

Month Day Year
11 25 2008

DTIC® has determined on **11 25 2008** that this Technical Document has the Distribution Statement checked below. The current distribution for this document can be found in the DTIC® Technical Report Database.

DISTRIBUTION STATEMENT A. Approved for public release; distribution is unlimited.

© **COPYRIGHTED.** U.S. Government or Federal Rights License. All other rights and uses except those permitted by copyright law are reserved by the copyright owner.

DISTRIBUTION STATEMENT B. Distribution authorized to U.S. Government agencies only. Other requests for this document shall be referred to controlling office.

DISTRIBUTION STATEMENT C. Distribution authorized to U.S. Government Agencies and their contractors. Other requests for this document shall be referred to controlling office.

DISTRIBUTION STATEMENT D. Distribution authorized to the Department of Defense and U.S. DoD contractors only. Other requests shall be referred to controlling office.

DISTRIBUTION STATEMENT E. Distribution authorized to DoD Components only. Other requests shall be referred to controlling office.

DISTRIBUTION STATEMENT F. Further dissemination only as directed by controlling office or higher DoD authority.

Distribution Statement F is also used when a document does not contain a distribution statement and no distribution statement can be determined.

DISTRIBUTION STATEMENT X. Distribution authorized to U.S. Government Agencies and private individuals or enterprises eligible to obtain export-controlled technical data in accordance with DoDD 5230.25.

TNO Rapport

TNO | Kennis voor zaken



20081124184



Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 346 35 62 11
F +31 346 35 39 77
Info-DenV@tno.nl

TNO-rapport**TNO-DV 2008 A395****Geluidsexpositie bij gebruik van otoplastieken
met communicatie**

Datum oktober 2008

Auteur(s) dr. ir. M.M.J. Houben
J.A. Verlave

Rubricering rapport Ongerubriceerd
Vastgesteld door Y. Steinman
Vastgesteld d.d. 20 augustus 2008

Titel Ongerubriceerd
Managementuittreksel Ongerubriceerd
Samenvatting Ongerubriceerd
Rapporttekst Ongerubriceerd

Oplage 11
Aantal pagina's 19 (excl. RDP & distributielijst)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2008 TNO

AQ F09-02-01021

Geluidsexpositie bij gebruik van otoplastieken met communicatie



Probleemstelling

Vanwege hoge geluidniveaus werken F-16 crewchiefs op Vliegbasis Volkel met 'communications earplugs' (CEPs).

Dit zijn oordoppen met miniatuur in-het-oor weergever die het omgevingsgeluid verzwakken maar ook communicatie naar de gebruiker mogelijk maken. Bij gebruik van CEPs draagt daarom niet alleen het omgevingsgeluid bij aan de totale geluidsexpositie van de gebruiker, maar ook de communicatie via de weergever in de oordoppen. In een eerder onderzoek van TNO Defensie en Veiligheid in opdracht van het CML, Centrum voor Mens en Luchtvaart van de Koninklijke Luchtmacht (rapport TNO-DV 2008 A054) is een methode ontwikkeld om de geluidsexpositie van CEPs te bepalen aan de hand van twee bijdragen:

- 1 Het omgevingsgeluid verminderd met de verzwakking door de gehoorbescherming

- 2 Het op de CEP aangesloten elektrische niveau omgerekend naar akoestische vrije veld niveau.

Momenteel gebruiken enkele crewchiefs op Vliegbasis Volkel bij wijze van proef zachte otoplastieken in plaats van de gebruikelijke schuim oordoppen. Hierbij is de miniatuur weergever van de 'standaard' CEP in de otoplastiek verwerkt. Daarom is er behoefte aan nieuwe meetgegevens van de gevoeligheid van de weergever in combinatie met de otoplastiek, dat wil zeggen, welk akoestisch niveau een bepaald aangesloten elektrisch niveau oplevert. Daarnaast moeten we de passieve geluidverzwakking weten van de otoplastiek in combinatie met de door de crewchiefs gebruikte Astrocom headset. Door de bijdragen van de communicatie en het gedempte omgevingslawaai te combineren komen we tot de totale geluidbelasting.

Beschrijving van de werkzaamheden

In het laboratorium van TNO hebben we, voor verschillende combinaties van gehoorbescherming die door de crewchiefs worden gebruikt, de geluidverzwakking gemeten. Daarnaast hebben we de gevoeligheid van de CEP met schuimdop en die van CEP met otoplastiek bepaald. Hiertoe stelden de deelnemende crewchiefs een geluid geproduceerd door de CEP in het ene oor zo in dat het even luid klonk als een geluid via het andere open oor. Met deze resultaten en door het CML gemaakte opnamen bij F-16 crewchiefs die de CEP met otoplastiek gebruiken, hebben we de totale geluidbelasting berekend.

Resultaten en conclusies

- De schuim oordop die standaard bij de CEP zit zorgt in het gebied van 250 Hz tot 1 kHz voor een iets betere geluidverzwakking dan otoplastieken. In de praktijk scheelt dat slechts 2 dB in geluidbelasting. Het verschil in geluidverzwakking zien we niet terug bij het vergelijken van de huidige meetresultaten met die uit het eerdere onderzoek.
- Het type oorkussen van de Astrocom headset, gel of schuim, heeft geen invloed op de geluidverzwakking.
- Het extra dragen van een David Clark Flight Deck Helmet vermindert de geluidverzwakking. Dat geeft in de praktijk een 3 dB verhoging van de geluidbelasting.
- Er is geen verschil in gevoeligheid tussen de otoplastieke versie van de CEP en de standaard CEP met schuimdop.
- Volgens berekeningen aan opnamen bij crewchiefs die CEP met otoplastiek gebruikten, bedraagt de gemiddelde geluidbelasting op een dag met twee

launches plus twee recoveries, uitgedrukt in $L_{Aeq,8h}$, 74 dB. Dit is ruim onder de wettelijke maximale dagdosis van 80 dB en beduidend lager dan eerder gemeten bij crewchiefs met standaard CEP. Het verschil wordt veroorzaakt door een combinatie van lager niveau van het omgevingslawaai en lager niveau van de communicatie.

Contact en rapportinformatie

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

T +31 346 35 62 11
F +31 346 35 39 77

Info-DenV@tno.nl

TNO-rapportnummer
TNO-DV 2008 A395

Opdrachtnummer
157.08.7060.01

Datum
oktober 2008

Auteur(s)
dr. ir. M.M.J. Houben
J.A. Verhave

Rubricering rapport
Ongerubriceerd

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegleider -	Projectbegeleider Y. Steinman, Mindef/DS/CLSK/CML
Programmaleider -	Projectleider dr. ir. M.M.J. Houben, TNO Defensie en Veiligheid
Programmatitel -	Projecttitel Geluidsexpositie otoplasiëken met communicatie
Programmanummer -	Projectnummer 032.13451
Programmaplanning -	Projectplanning Start 10 maart 2008 Gereed 31 juli 2008
Toezichthouder -	
Frequentie van overleg Met de projectbegeleider werd geregeld gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam dr. ir. M.M.J. Houben J.A. Verhave



Summary

Sound exposure level of F-16 crew chiefs using custom molded communications earplugs

Because of the noisy environment, F-16 crew chiefs at Air Base Volkel use communications earplugs (CEPs). CEPs are earplugs that incorporate a miniature loudspeaker through which the intercom can be presented to the user unattenuated while the earplugs do attenuate environmental sounds. In a previous study, we developed a method to assess the sound exposure level of CEP users. Not only was the attenuated F-16 noise taken into account, but also the sound exposure resulting from communication through the CEP. The latter was accounted for through the CEP's sensitivity – the relation between electric power level to the CEP and perceived sound level. Those measurements were all on CEPs with foam earplugs. In the current study, we extended it to custom molded earplugs (CME), by measuring sound attenuation for several combinations of hearing protection, and by measuring their sensitivity. The results show that:

- The CME has a higher sound attenuation compared to the foam earplug in the frequency range of 250 Hz to 1 kHz only, resulting in a slight decrease in sound exposure of 2 dB.
- The two types of ear cushion of the Astrocom headset that the crew chiefs use – foam and gel – do not differ in sound attenuation.
- Additional use of a David Clark Flight Deck Helmet decreases the attenuation, resulting in a 3 dB increase of sound exposure.
- The CEP with foam earplug and the CEP with CME do not differ in electric to acoustic sensitivity.
- The estimated per-day dose (two launches and two recoveries), based on recordings of crew chiefs that use the CEP with CME, is 74 dB(A). This is 5 dB below the per-day dose that we calculated previously for the CEP with foam earplug, which is due to a lower sound level of both environmental noise and communication.

Inhoudsopgave

Managementuittreksel.....	2
Summary	4
Inhoudsopgave	5
1 Inleiding.....	6
2 Geluidverzwakking van de gehoorbescherming	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Methode.....	7
2.3 Resultaten	8
3 Van elektrisch naar akoestisch niveau.....	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Methode.....	13
3.3 Resultaten	13
4 Dosismetingen bij F-16 crewchiefs.....	15
4.1 Inleiding	15
4.2 Resultaten	15
5 Conclusies.....	17
6 Referenties.....	18
7 Ondertekening	19

1 Inleiding

In omgevingen met hoge geluidniveaus wordt steeds vaker gebruik gemaakt van ‘communications earplugs’ (CEPs). Dit zijn oordoppen met miniatuur in-het-oor weergever die het omgevingsgeluid verzwakken maar ook communicatie naar de gebruiker mogelijk maken. Bij gebruik van CEPs draagt daarom niet alleen het omgevingsgeluid bij aan de totale geluidsexpositie van de gebruiker, maar ook de spraakcommunicatie via de weergever in de oordoppen. In een eerder onderzoek van TNO is een methode ontwikkeld om de geluidsexpositie van CEPs te bepalen (TNO-project 032.13072, rapport TNO-DV 2008 A054) [1].

In theorie kan het totale geluidsexpositieniveau worden bepaald door het geluidniveau te meten *achter* de oordop, in de gehoorgang. Echter, de meetapparatuur voor dergelijke metingen is te kwetsbaar en oncomfortabel om toe te passen in langdurige dosismetingen. Bovendien komt het geluidniveau gemeten in een gesloten gehoorgang niet overeen met het geluidniveau in het vrije veld, wat geldt als referentie voor het bepalen van de lawaaibelasting. Daarom werd er voor gekozen om de geluidsexpositie te bepalen aan de hand van twee bijdragen:

- Het buitenniveau verminderd met de verzwakking door de gehoorbescherming.
- De geluidbelasting ten gevolge van de communicatie via de CEP, berekend door het elektrische niveau naar de CEP om te rekenen naar akoestisch equivalent vrije veld niveau.

Om de relatie tussen het op de CEP aangesloten elektrische niveau en het akoestische vrije veld niveau (de gevoeligheid) te bepalen werd gebruik gemaakt van ‘loudness matching’. Hierbij stelden luisteraars een geluid geproduceerd door een CEP in het ene oor zo in dat het even luid klonk als een geluid via het andere open oor. Hieruit kon de gevoeligheid worden bepaald, welke verschillend is voor verschillende type CEPs. Zo is aan de hand van metingen bij F-16 crewchiefs op Vliegbasis Volkel, een populatie die de CEP intensief gebruikt onder extreme lawaaiomstandigheden, de totale geluidsexpositie voor deze doelgroep berekend. De gebruikte CEP was een standaard uitvoering met universele schuim oordop.

Momenteel gebruiken enkele crewchiefs op Vliegbasis Volkel bij wijze van proef zachte otoplastieken in plaats van de schuim oordoppen. Hierbij is de miniatuur weergever van de ‘standaard’ CEP in de otoplastiek verwerkt. Daarom is er behoefte aan nieuwe meetgegevens van de gevoeligheid van de weergever in combinatie met de otoplastiek. Met behulp van deze gevoeligheid van de weergever in de otoplastiek kunnen we een elektrisch intercomsignaal vertalen naar akoestische niveaus. Daarnaast moeten we de passieve geluidverzwakking weten van de otoplastiek in combinatie met de door de crewchiefs gebruikte Astrocom headset. Met behulp van deze geluidverzwakking kunnen we het buiten niveau omrekenen naar het geluidniveau achter de gehoorbescherming. Door de bijdrage van de communicatie te combineren met de bijdrage van het gedempte omgevingslawaai komen we tot de totale geluidbelasting.

2 Geluidverzwakking van de gehoorbescherming

2.1 Inleiding

Om te kunnen bepalen wat de bijdrage van het omgevingslawaai is aan de totale geluidbelasting, moet het gemeten buitenniveau worden verminderd met de verzwakking van het geluid door de gebruikte gehoorbescherming. Om deze reden meten we de geluidverzwakking van de door de crewchiefs gebruikte combinatie van headset en otoplastiek.

Daarnaast willen we bekijken wat de invloed is van een stoothelm (David Clark Flight Deck Helmet) op de totale geluidverzwakking. Alhoewel de crewchiefs de stoothelm tot hun beschikking hebben wordt hij maar zelden gedragen.

In het eerdere onderzoek waren de oorkappen van de Astrocom headset (model 10987A) uitgerust met schuim oorkussens (model 10253B). Omdat in de praktijk de crewchiefs voornamelijk gelkussens (model 40243G) gebruiken bekijken we ook het verschil in geluidverzwakking tussen beide typen kussens.

2.2 Methode

De verzwakking van de (combinatie van) gehoorbeschermingsmiddelen hebben we gemeten met de REAT-methode (*Real Ear At Threshold*) [2]. De individuele geluidverzwakking is verkregen door per proefpersoon de gehoordrempel bij gebruik van gehoorbescherming te verminderen met de gehoordrempel bij open oren. Dit hebben we gedaan voor 7 octaafbanden (smalbandige roze ruis, 1/3 octaaf breed) met centrale frequenties van 125 Hz tot en met 8 kHz.

De metingen hebben we verricht bij 7 crewchiefs met aangemeten otoplastieken met communicatie. De resultaten van één crewchief hebben we weggelaten vanwege problemen tijdens het meten (onder andere onverklaarbare lagere drempels bij beschermd oren dan bij open oren). Voor aanvang van de metingen werd een audiogram afgenoemd. De helft van de crewchiefs heeft in het frequentiegebied van 4 tot 8 kHz een verhoogde drempel van gemiddeld 20 tot 25 dB HL.

Eerst werd de gehoordrempel bij open oren gemeten. Daarna werden achtereenvolgens de drempels gemeten met:

- otoplastiek;
- otoplastiek + headset met gelkussens;
- otoplastiek + stoothelm + headset met gelkussens;
- schuimdop + stoothelm + headset met gelkussens;
- schuimdop + stoothelm + headset met schuimkussens.

De volgorde van de condities werd bij elke tweede proefpersoon omgekeerd om volgorde-effecten te beperken.

2.3 Resultaten

Geluidverzwakkingen

De gemiddelde geluidverzwakkingen en standaarddeviaties per frequentieband voor de verschillende combinaties van bescherming worden gegeven in tabel 1 tot en met tabel 5. De laatste regel in iedere tabel geeft de APV, *Assumed Protection Value*, welke gelijk is aan de gemiddelde verzwakking min de standaarddeviatie. Voor de berekening van geluidsexposities is het gebruikelijk om met deze waarde te rekenen omdat het de veronderstelde minimale geluidverzwakking voor 84% van de populatie inhoudt.

Tabel 1 Gemiddelde geluidverzwakking, standaarddeviatie en APV in dB voor de verschillende octaafbanden bij gebruik van enkelvoudige gehoorbescherming door de otoplastiek.

'oto'	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	25,4	24,3	22,9	24,3	33,4	32,7	35,6
std	6,0	3,1	2,8	2,0	1,6	2,2	3,3
APV	19,4	21,2	20,1	22,3	31,8	30,5	32,3

Tabel 2 Gemiddelde geluidverzwakking, standaarddeviatie en APV in dB voor de verschillende octaafbanden voor de combinatie van otoplastiek en Astrocom headset met gelkussens.

'oto + gel'	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	30,7	31,9	37,0	32,6	36,4	48,2	42,2
std	9,0	3,1	4,8	4,3	2,5	3,9	3,5
APV	21,7	28,8	32,2	28,3	33,9	44,3	38,7

Tabel 3 Gemiddelde geluidverzwakking, standaarddeviatie en APV in dB voor de verschillende octaafbanden voor de combinatie van otoplastiek, stoethelm en Astrocom headset met gelkussens.

'oto + helm + gel'	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	30,4	27,6	29,2	27,5	34,9	49,9	47,3
std	7,6	3,8	2,1	3,0	2,8	4,2	4,3
APV	22,8	23,8	27,1	24,5	32,1	45,7	43,0

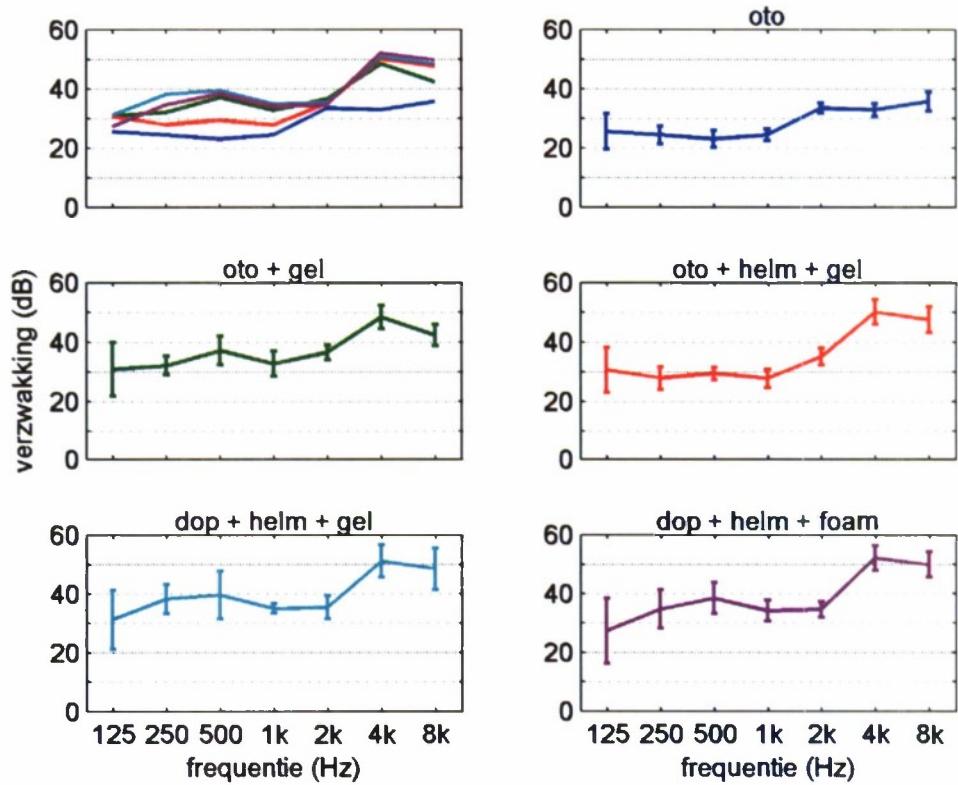
Tabel 4 Gemiddelde geluidverzwakking, standaarddeviatie en APV in dB voor de verschillende octaafbanden voor de combinatie van schuimdoppen, stoethelm en Astrocom headset met gelkussens.

'dop + helm + gel'	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	31,0	37,9	39,3	34,8	35,1	50,8	48,3
std	10,0	5,0	8,2	1,6	4,0	5,5	7,0
APV	21,0	32,9	31,1	33,2	31,1	45,3	41,3

Tabel 5 Gemiddelde geluidverzwakking, standaarddeviatie en APV in dB voor de verschillende octaafbanden voor de combinatie van schuimdoppen, stoethelm en Astrocom headset met schuimkussens.

'dop + helm + foam'	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Gemiddelde	27,1	34,6	38,2	33,9	34,4	52,0	49,6
std	11,1	6,6	5,4	3,6	2,7	4,2	4,4
APV	16,0	28,0	32,8	30,3	31,7	47,8	45,2

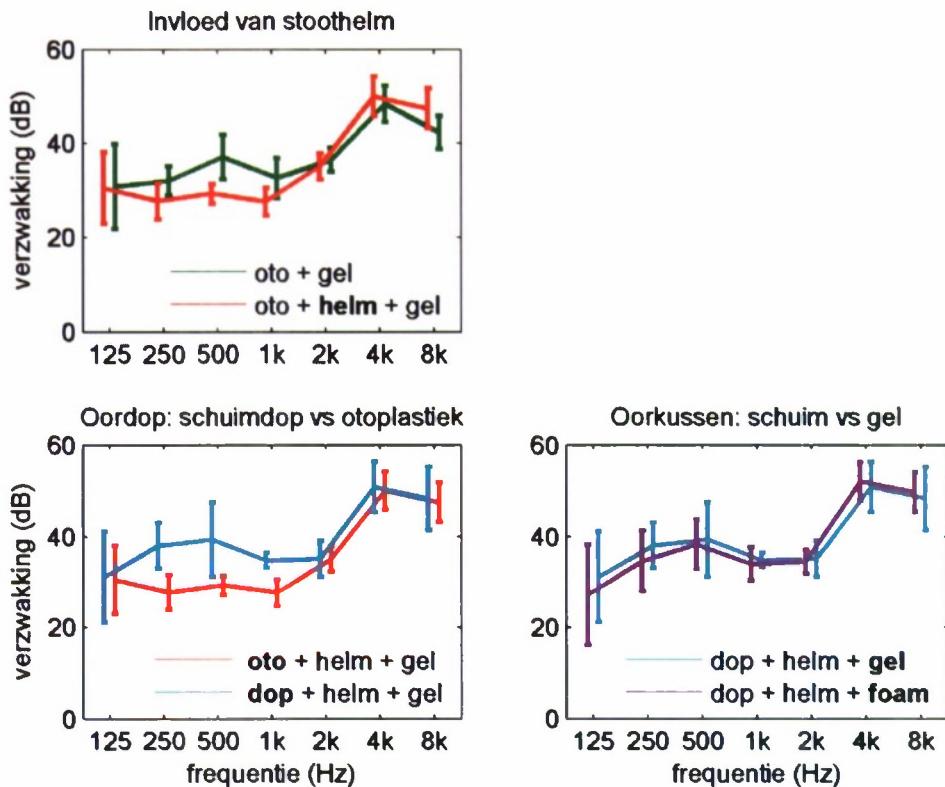
De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 1. Het paneel linksboven laat alle gemiddelden bij elkaar zien. Deze worden ook afzonderlijk getoond in de andere panelen met daarbij de variatie over de proefpersonen (+/- standaarddeviatie).



Figuur 1 Gemiddelde geluidverzwakking als functie van frequentie voor verscheidene combinaties van bescherming. De foutenbalken geven de standaarddeviaties weer.

Vergelijkingen tussen gehoorbeschermers

Om de invloed van de stoethelm, de invloed van oorkussens van schuim versus gel en de invloed van schuimdop versus otoplantiek te bekijken, geven we in figuur 2 deze drie vergelijkingen weer. De curven zijn dezelfde als in figuur 1, met ieder dezelfde eigen kleur, maar nu paarsgewijs bij elkaar gezet voor gemakkelijkere vergelijking.



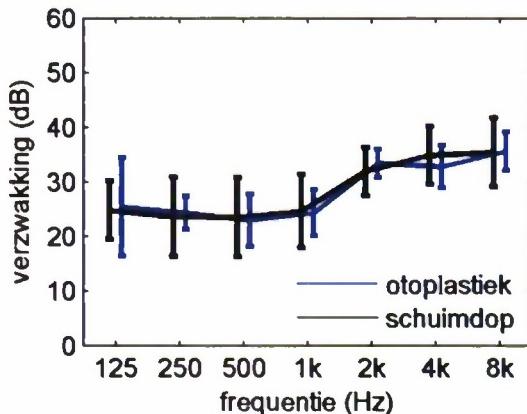
Figuur 2 Een drietal vergelijkingen tussen geluidverzwakkingen gemeten bij verschillende configuraties van bescherming.

In het paneel linksboven is te zien dat de invloed van de stoethelm op de totale demping hoofdzakelijk beperkt blijft tot het frequentiegebied van 500 Hz tot 1 kHz. In dat gebied blijkt gebruik van de helm een significant (t -test, $p < 0,5$) negatief effect te hebben op de totale verzwakking. Bij 500 Hz is dit effect het grootst en dempt de combinatie van otoplasmiek, stoethelm en headset met gelkussens gemiddeld ongeveer 7 dB minder dan een combinatie van alleen otoplasmiek en headset. Een mogelijke oorzaak is het optreden van reflecties onder de stoethelm.

In het paneel rechtsonder is te zien dat er nauwelijks een verschil is tussen de demping van een Astrocom headset met oorkussens van gel en een headset met oorkussens van schuim. Statistische tests laten dan ook geen significante verschillen zien (t -test, $p < 0,5$). Dit geeft aan dat de oorkussens van schuim even goed afsluiten als de gelkussens.

In het paneel linksonder is te zien dat het verschil in demping door CEP met standaard schuimdoppen in vergelijking met otoplasmiek beperkt blijft tot het frequentiegebied van 250 Hz tot 1 kHz. Dit wordt bevestigd door statistische tests (t -test, $p < 0,5$). Het maximale verschil van 10 dB bij 250 Hz en 500 Hz geeft aan dat bij deze frequenties de schuimdop het oor aanzienlijk beter afsluit dan de otoplasmiek. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de spreiding in verzwakkingswaarden voor de schuimdop groter is dan voor de otoplasmiek.

Als we echter de geluidverzwakkingen bekijken bij enkelvoudig gebruik van otoplasmiek en schuimdop, dan zien we de verschillen niet terug. In figuur 3 wordt de vergelijking gemaakt tussen de in het huidige onderzoek gemeten verzwakking door alleen de otoplasmiek en de in het vorige onderzoek gemeten verzwakking van alleen de schuimdop. Ondanks dat de metingen zijn verricht bij twee verschillende groepen proefpersonen verschillen de geluidverzwakkingen voor schuimdop en otoplasmiek nauwelijks.



Figuur 3 Vergelijking van de geluidverzwakking door otoplaster en schuimdop. De meetwaarden voor de schuimdop zijn verkregen uit het eerdere onderzoek beschreven in [1], met een andere proefpersoon populatie.

Invloed in de praktijk

Om de invloed van verschillen in geluidverzwakking in de praktijk te kunnen beoordelen, berekenen we de geluidbelasting ten gevolge van F-16 lawaai die overblijft na bescherming. We gaan uit van het gemiddelde spectrum van het F-16 lawaai tijdens een launch, bepaald bij een zestal metingen bij crewchiefs (waarvan we een overzicht gaan geven in tabel 9). De niveaus per octaafband en de energetische som over alle banden van dit spectrum worden gegeven in tabel 6 ('onbeschermd'). De niveaus hebben we uitgedrukt in ASEL, *A-weighted sound exposure levels*, het geluidniveau dat in één seconde dezelfde totale geluidenergie oplevert als de werkelijke gebeurtenis (zie ook [1])¹. De beschermde niveaus hebben we berekend door de onbeschermde niveaus te verminderen met de APV-waarden die zijn vermeld in tabel 1 tot en met tabel 5.

Tabel 6 Invloed van de gehoorbescherming op de geluidbelasting in de praktijk. Alle niveaus zijn in ASEL. De onbeschermde situatie is het gemiddelde A-gewogen spectrum van het buitenlawaai waar een F-16 crewchief aan bloot staat gedurende een launch. De beschermde situaties zijn berekend aan de hand van de APV-waarden in tabel 1 tot en met tabel 5.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	totaal
onbeschermd	112,1	124,1	130,1	133,4	140,0	140,3	131,2	144,1
'oto'	92,7	102,9	110,0	111,1	108,2	109,8	98,9	116,2
'oto + gel'	90,4	95,3	97,9	105,1	106,1	96,0	92,5	109,5
'oto + helm + gel'	89,3	100,3	103,0	108,9	107,9	94,6	88,2	112,4
'dop + helm + gel'	91,1	91,2	99,0	100,2	108,9	95,0	89,9	110,1
'dop + helm + foam'	96,1	96,1	97,3	103,1	108,3	92,5	86,0	110,2

Tabel 6 laat zien dat het lawaaispectrum de hoogste niveaus heeft in de 2 en 4 kHz banden. Na verzwakking door de gehoorbescherming blijken vooral de 1 en 2 kHz banden bij te dragen aan de totale geluidbelasting.

Als we de geluidbelasting bij het dragen van otoplaster en headset met gelkussens (109,5 dB) vergelijken met die bij dezelfde combinatie met stoethelm toegevoegd (112,4 dB), dan zien we dat de verminderde geluidverzwakking bij het dragen van de stoethelm in de praktijk de geluidbelasting verhoogt met circa 3 dB.

¹ Omdat het F-16 lawaai gedurende de launches gemiddeld 750 seconden aanwezig was, kan het gemiddelde A-gewogen niveau in dB SPL verkregen worden door de ASELs te verminderen met $10 * \log(750) = 28,8$ dB. Bijvoorbeeld, een ASEL van 144,1 komt overeen met een gemiddeld geluidniveau van $144,1 - 28,8 = 115,3$ dB(A) gedurende 750 seconden.

Kijken we naar de geluidbelasting die resteert bij het dragen van oordop, stoophelm en headset met gelkussens (110,1 dB) en we vergelijken dit met de geluidbelasting bij het dragen van dezelfde combinatie maar met foam kussens in plaats van gel (110,2 dB), dan zien we dat het type oorkussen geen effect heeft op de geluidbelasting.

Als we tot slot het verschil bekijken tussen het gebruik van otoplastiek (112,4 dB) en het gebruik van schuimdoppen (110,1 dB), beide gecombineerd met stoophelm en headset, dan zien we in de praktijk een geringe toename in geluidbelasting van circa 2 dB bij gebruik van otoplastiek in plaats van schuimdop.

3 Van elektrisch naar akoestisch niveau

3.1 Inleiding

Om te kunnen bepalen wat de bijdrage van de intercom is aan de totale geluidbelasting, moeten we weten met welk geluidniveau in het oor een elektrisch niveau aangeboden via de otoplastieke versie van de CEP overeenkomt. De relatie tussen het aangeboden elektrisch signaal (in dB μ V) en het geluidniveau in het oor gerelateerd aan het vrije veld niveau (in dB SPL) noemen we de gevoeligheid (dB SPL / μ V). Deze gevoeligheid is voor iedere type weergever anders.

Om de gevoeligheid te bepalen is in [1] de methode van ‘loudness matching’ gebruikt; de luisteraar maakt een geluid geproduceerd door de otoplastieke CEP versie in het ene oor even luid als het waargenomen geluid van een externe geluidsbron in het andere, open, oor. De correctiefactor om het via CEP aangeboden elektrische niveau om te rekenen naar open oor equivalent vrije veld niveau geeft de gevoeligheid van de weergever in combinatie met de otoplastiek.

3.2 Methode

De meetmethode is eerder gedetailleerd beschreven in [1]. De loudness matching is uitgevoerd voor zeven smalbandige ruisbandjes met dezelfde middenfrequenties als bij de metingen van de geluidverzwakking. De gemeten niveaus werden gemiddeld over zes herhalingen waarvan de helft met het rechter oor open en de andere helft met het linker oor open. We hebben deze metingen bij zes crewchiefs verricht, bij zowel de otoplastieke versie van de CEP als bij de ‘standaard’ CEP met schuimdoppen.

3.3 Resultaten

De gevoeligheid is simpelweg het equivalente vrije veld niveau (dB SPL) minus het elektrische ingangsniveau naar de CEP (dB μ V). In tabel 7 staan de gemiddelde resultaten (dB) en standaarddeviaties (dB) over proefpersonen voor de otoplastieke CEP. In tabel 8 staan de resultaten voor de CEP met schuimdoppen. Om bij de berekeningen van de geluidsexpositie veilig te zitten is het verstandig om niet de gemiddelden, maar de gemiddelden plus één maal de standaarddeviatie te nemen; zo wordt het maximale geluidniveau voor 84% van de populatie bereikt.

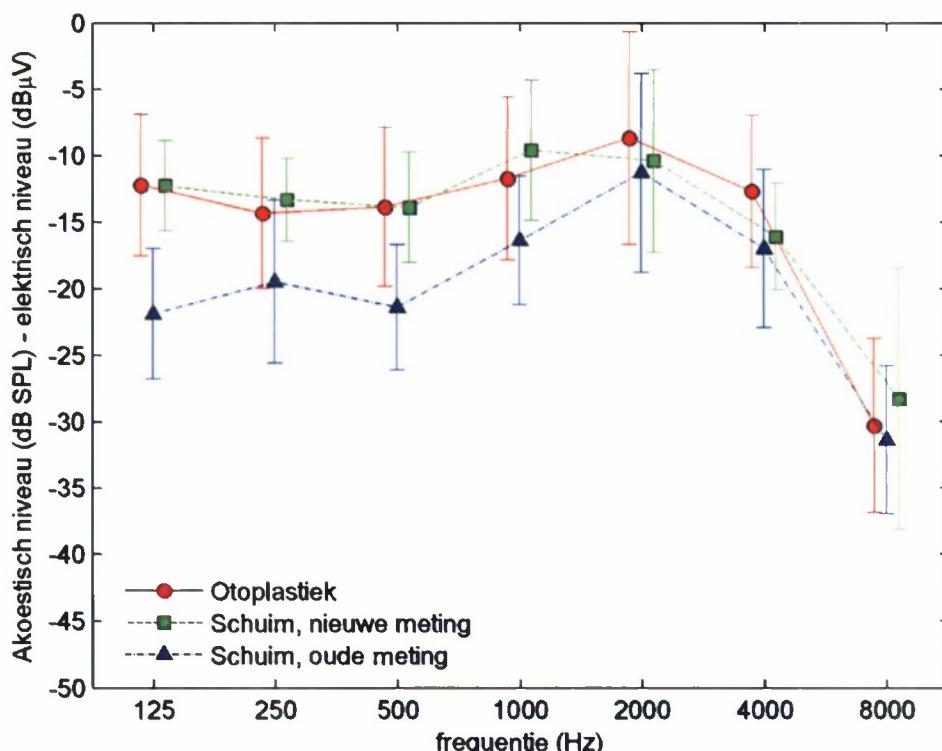
Tabel 7 Gemiddelde gevoeligheid en bijbehorende standaarddeviatie van de otoplastieke CEP met schuimdoppen in dB SPL / μ V.

Otoplastieke CEP versie	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	-12,2	-14,4	-13,9	-11,8	-8,7	-12,7	-30,3
std	5,3	5,6	6,0	6,1	8,0	5,7	6,6
gemiddelde + std	-6,9	-8,8	-7,9	-5,7	-0,7	-7,0	-23,7

Tabel 8 Gemiddelde gevoeligheid en bijbehorende standaarddeviatie van de 'standaard' CEP met schuimdoppen in dB SPL / μ V.

Standaard CEP schuimdoppen	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
gemiddelde	-12,3	-13,3	-13,9	-9,6	-10,4	-16,1	-28,3
std	3,4	3,1	4,1	5,3	6,9	4,0	9,8
gemiddelde + std	-8,9	-10,2	-9,8	-4,3	-3,5	-12,1	-18,5

In figuur 4 geven we de resultaten grafisch weer. De verschillen tussen otoplastiek ('Otoplastiek, nieuwe meting') en schuimdoppen ('Schuim, nieuwe meting') binnen dezelfde populatie is klein. Dit geeft aan dat er geen wezenlijk verschil is tussen de gevoeligheid van de twee typen CEPs, otoplastiek of schuimdop, met dezelfde in-het-oor weergever. Dat betekent dat de weergever eenzelfde akoestisch niveau produceert voor beide varianten.



Figuur 4 Gevoeligheid van de CEP in dB SPL / μ V. Getoond worden zowel de huidige metingen aan de otoplastieke versie van de CEP (rode cirkels) en standaard CEP met schuimdop (groene vierkanten) als de oude metingen [1] aan de standaard CEP met schuimdop (blauwe driehoeken).

We hebben in dezelfde figuur de resultaten van metingen aan de CEP met schuimdoppen in het vorige onderzoek ('Schuim, oude meting') weergegeven. We vinden voor de lage frequenties tot en met 1 kHz een significante afwijking tussen de oude en nieuwe metingen (t -test, $p < 0,5$). Wat dit verschil veroorzaakt is niet duidelijk. Het kan niet worden verklaard door een variatie in gevoeligheid van de weergevers want metingen op een kunsthoofd geven slechts kleine verschillen van maximaal enkele dB's tussen exemplaren. Wellicht moet de oorzaak gezocht worden in het verschil tussen de proefpersoonpopulaties: destijds 10 onervaren gebruikers (gemiddelde leeftijd ongeveer 28 jaar) versus nu 6 crewchiefs (gemiddelde leeftijd 38 jaar) die gewend zijn de CEPs te gebruiken. Door het goed plaatsen van schuimdoppen ten opzichte van niet-optimale plaatsing kan tot wel 10 dB extra geluidniveau bij lage frequenties worden verkregen.

4 Dosismetingen bij F-16 crewchiefs

4.1 Inleiding

Er zijn door het CML nieuwe opnamen gemaakt bij F-16 crewchiefs die de CEP met otoplastiek gebruiken tijdens hun werkzaamheden op Vliegbasis Volkel. Deze opnamen van het omgevingsgeluid en het elektrisch intercomsignaal zijn gemaakt met apparatuur die eerder is gebruikt voor opnamen bij crewchiefs [1].

Met behulp van de uit de labmetingen verkregen gevoeligheid van de otoplastieke CEP (tabel 7 onderste regel, gemiddelde + std voor otoplastiek) hebben we de geluidbelasting ten gevolge van communicatie via de CEP bepaald. Door deze op te tellen bij de belasting ten gevolge van het omgevingslawaai verminderd met de geluidverzwakking van de gehoorbescherming (tabel 2 onderste regel, APV voor otoplastiek + headset met gelkussens), hebben we de totale geluidsexpositie verkregen.

4.2 Resultaten

Er werden 6 bruikbare metingen verricht tijdens een F-16 *launch* (metingen L1 tot en met L6) en 6 metingen tijdens een *recovery* (metingen R1 tot en met R6). Tabel 9 geeft een overzicht van de resultaten. Zowel de ASEL van de totale geluidbelasting per opname ($ASEL_{\text{totaal}}$) als de afzonderlijke bijdragen van het buitenlawaai na demping door gehoorbescherming ($ASEL_{\text{beschermd}}$) en communicatie via CEP ($ASEL_{\text{communicatie}}$) worden gegeven. Ter vergelijking wordt ook de ASEL van het buitenlawaai zonder gehoorbescherming ($ASEL_{\text{buiten}}$) gegeven. Aangezien er tijdens een recovery geen radiocontact is tussen piloot en crewchief en er dus geen bijdrage is van de communicatie op de totale geluidbelasting, zijn de desbetreffende velden leeg.

Tabel 9 Geschatte geluidsexpositie per geluidsopname en gemiddelde, launches en recoveries apart. Zowel de ASEL van de totale geluidbelasting ('totaal') als de afzonderlijke bijdragen van het buitenlawaai na demping door gehoorbescherming ('beschermd') en communicatie via CEP ('communicatie') worden gegeven. Bovendien wordt het niveau van het buitenlawaai vermeld ('buiten').

Label	ASEL buiten	ASEL beschermd	ASEL communicatie	ASEL totaal
L1	143,7	109,2	107,1	111,3
L2	142,3	108,0	103,1	109,2
L3	142,4	108,3	110,4	112,5
L4	145,3	110,1	108,7	112,5
L5	146,3	111,1	108,4	112,9
L6	144,8	111,5	111,6	114,5
L gemiddeld	144,1	109,7	108,2	112,2
R1	133,2	97,7	-	97,7
R2	134,4	98,3	-	98,3
R3	135,6	99,4	-	99,4
R4	131,4	96,8	-	96,8
R5	133,9	99,5	-	99,5
R6	124,5	90,9	-	90,9
R gemiddeld	132,2	97,1	-	97,1

De gemiddelde geluidbelasting ten gevolge van zowel het gedempte omgevingslawaai als de communicatie tijdens een launch is 115,2 dB. De gemiddelde geluidbelasting tijdens een recovery is 100,2 dB. Gezien het grote niveauverschil tussen launch en recovery zullen werkzaamheden tijdens recoveries nauwelijks bijdragen aan de totale geluidbelasting op een dag.

Ter vergelijking: in het vorige onderzoek werden voor CEP met schuimdoppen tijdens launches gemiddelde ASELS berekend van 148,4 dB buiten, 114,6 dB beschermd, 117,1 dB communicatie en 120,3 dB totaal. De geluidbelasting tijdens recoveries speelde ook toen nauwelijks een rol. De in het huidige onderzoek gevonden lagere waarde voor het beschermd niveau (circa -2 dB) wordt veroorzaakt door een iets lager niveau van het omgevingslawaai tijdens de huidige metingen. Doordat bovendien het berekende niveau van de communicatie circa 6 dB lager is, komt het totale expositienniveau tijdens launches circa 5 dB lager uit. Het is overigens logisch dat als het geluidniveau ten gevolge van het F-16 lawaai lager is, ook het geluidniveau ten gevolge van de communicatie lager is. Immers, bij minder lawaai hoeft de crewchief de intercom minder hard te zetten voor dezelfde spraakverstaanbaarheid.

Om de totale geluidsexpositie gedurende een gehele dag te bepalen, moeten de ASELS van alle activiteiten op een dag energetisch worden gesommeerd. Als we uitgaan van twee maal een gemiddelde launch en twee maal een gemiddelde recovery dan is de totale geluidbelasting op een dag 118,3 dB. Het A-gewogen equivalente geluidniveau gedurende 8 uur, $L_{Aeq,8h}$, oftewel het niveau dat wordt verkregen als de totale geluidenergie wordt uitgesmeerd over 8 uur, kan uit ASELS worden verkregen door er 44,6 dB van af te trekken. Onze huidige metingen en berekeningen bij crewchiefs met otoplastieken leveren een $L_{Aeq,8h}$ op van circa 74 dB. Dit is ruim onder de wettelijke maximale dagdosis van 80 dB [3].

5 Conclusies

De universele schuim oordop die standaard bij de CEP zit geeft van 250 Hz tot en met 1 kHz een hogere geluidverzwakking, van maximaal 10 dB, dan otoplasiëken. Door het hoogfrequente karakter van het F-16 lawaai, wordt in de praktijk de geluidbelasting met slechts 2 dB verlaagd. Het verschil in geluidverzwakking zien we niet terug als we de huidige meetresultaten vergelijken met die in een rapportage van een vorig onderzoek.

Er is geen verschil in geluidverzwakking bij gebruik van een Astrocom headset met gelkussens in plaats van kussens van schuim.

Het extra dragen van een David Clark stoethelm heeft alleen invloed op de geluidverzwakking in het frequentiegebied van 500 Hz tot 1 kHz, met een reductie van maximaal 7 dB. In de praktijk geeft dit een 3 dB verhoging van de geluidbelasting.

Er is geen verschil in gevoeligheid (van elektrisch naar akoestisch niveau) tussen de otoplasiëke versie van de CEP en de standaard CEP met schuimdop.

Geluidsexpositieberekeningen op basis van geluidopnamen bij F-16 crewchiefs die de otoplasiëk met communicatie gebruiken laten zien dat de gemiddelde geluidbelasting op een dag met twee launches plus twee recoveries, uitgedrukt in $L_{Aeq,8h}$, 74 dB bedraagt. Dit is ruim onder de wettelijke maximale dagdosis van 80 dB en beduidend lager dan eerder gemeten bij crewchiefs met standaard CEP. Het verschil bestaat uit een combinatie van lager niveau van het omgevingslawaai en lager niveau van de communicatie. Dit kan verschillende oorzaken hebben, bijvoorbeeld een verschil in afstand tot de lawaaibron bij de crewchiefs waarbij de opnamen zijn gemaakt. Omdat er blijkbaar verschillen kunnen optreden is het nuttig om in de toekomst te kijken naar wat het niveau van het omgevingslawaai en de communicatie beïnvloedt en daar op in te spelen.

6 Referenties

- [1] Houben, M.M.J.; Verhave J.A. & Geurtsen, F.W.M. (2008),
Geluidsexpositie bij gebruik van CEP door F-16 crewchiefs
(Rapport TNO-DV 2008 A054),
Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- [2] ISO 4869-1: Acoustics – Hearing protectors – Part 1 (1990),
Subjective method for the measurement of sound attenuation,
Geneve, Zwitserland: International Standards Organization.
- [3] Arbo-informatie AI-4 (2003),
Lawaai op de arbeidsplaats (Uitgave Min. SZW, 3^e herziene druk),
Den Haag: SDU Uitgevers.

7 Ondertekening

Soesterberg, oktober 2008

M.P. van Esch - Bussemakers

dr. M.P. van Esch-Bussemakers
Afdelingshoofd

TNO Defensie en Veiligheid



dr. ir. M.M.J. Houben
Auteur

ONGERUBRICEERD
REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2008-0169	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2008 A395
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 032.13451	5. CONTRACT NO 157.08.7060.01	6. REPORT DATE October 2008
7. NUMBER OF PAGES 19 (excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 3	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Sound exposure level of F-16 crew chiefs using custom molded communications earplugs		
11. AUTHOR(S) Dr M.M.J. Houben, MSc ; J.A. Verhave		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 23, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands Kampweg 5, Soesterberg, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Dutch Ministry of Defence, P.O. Box 20701, 2500 ES, The Hague, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Because of the noisy environment, F-16 crew chiefs at Air Base Volkel use communications earplugs (CEPs). CEPs are earplugs that incorporate a miniature loudspeaker through which the intercom can be presented to the user unattenuated while the earplugs do attenuate environmental sounds. In a previous study, we developed a method to assess the sound exposure level of CEP users. Not only was the attenuated F 16 noise taken into account, but also the sound exposure resulting from communication through the CEP. The latter was accounted for through the CEP's sensitivity – the relation between electric power level to the CEP and perceived sound level. Those measurements were all on CEPs with foam earplugs. In the current study, we extended it to custom molded earplugs (CME). The results show that the CME has a higher sound attenuation compared to the foam earplug in the frequency range of 250 Hz to 1 kHz only, resulting in a slight decrease in sound exposure of 2 dB. Furthermore, the CEP with foam earplug and the CEP with CME do not differ in electric to acoustic sensitivity. The estimated per-day dose, based on recordings of crew chiefs that use the CEP with CME, is 74 dB(A).		
16. DESCRIPTORS Noise exposure, Hearing protection, Sound exposure	IDENTIFIERS F-16 crewchiefs, Communications earplug, Sound attenuation, Custom molded earplugs	
17a SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution	17d SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd	

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- 1 DMO/SC-DR&D
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom
- 2/3 DMO/DR&D/Kennistransfer
- 4 Projectbegeleider Defensie
Mindef/DS/CLSK/Centrum voor Mens en Luchtvaart
Y. Steinman
(inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom)
- 5/7 Bibliotheek KMA
- 8/9 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
(Archief)
- 10/11 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
dr. ir. M.M.J. Houben
J.A. Verhave

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur, ing. J.V. Elsendoorn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebier PDeng
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Informatie en Operaties (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg, Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink